



**Eur päisches
Patentamt**

**Eur pean
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02026498.2

Der Präsident des Europäischen Patentamts:
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02026498.2
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 28.11.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Infineon Technologies AG
St.-Martin-Strasse 53
81669 München
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Verfahren und Einrichtung zum ermitteln der minimalen oder maximalen
schaltaktivität einer digitalschaltung

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G06F17/50

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

28 Nov. 2002

1

Beschreibung

Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln der minimalen oder maximalen Schaltaktivität einer Digitalschaltung

5

Die folgende Erfindung betrifft ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zum Ermitteln einer minimalen oder einer maximalen Schaltaktivität einer Digitalschaltung anhand eines funktio-
nalen Modells der Digitalschaltung, sowie ein digitales Spei-
chermedium mit Steuersignalen zur Durchführung des Verfahrens
mittels einer Datenverarbeitungseinrichtung.

10

Dem Entwurf verlustleistungsarmer digitaler Signale kommt immer wachsende Bedeutung zu. Schon heute wäre beispielsweise
der Betrieb von mobilen Endgeräten wie Mobiltelefonen oder
tragbaren Computersystemen ohne den Einsatz von Maßnahmen zur
Reduktion der Leistungsaufnahme nicht praktikabel. Die Leis-
tungsaufnahme eines digitalen Systems bzw. einer Digital-
schaltung wird in erheblichem Maß von der Schaltaktivität der
Digitalschaltung bestimmt. Für den Entwurf von Digitalschal-
tungen mit geringem Leistungsverbrauch sind präzise Aussagen
über die maximale bzw. minimale Leistungsaufnahme unabding-
bar. Ein wesentliches Entwurfsziel solcher Schaltungen ist
neben der funktionalen Korrektheit auch das Einhalten der
Vorgaben für den Leistungsverbrauch.

15

20

25

Zur Abschätzung der Leistungsaufnahme bzw. der Schaltaktivi-
tät ist es bei herkömmlichen Verfahren bekannt, die Digital-
schaltung mit vom Anwender vorgegebenen Testvektoren zu be-
aufschlagen, wobei die Aussagekraft der gewonnenen Abschät-
zung der Leistungsaufnahme bzw. Schaltaktivität maßgeblich
von der Qualität der vorgegebenen Testvektoren abhängt. Diese
Vorgehensweise ist damit fehleranfällig und kann zu unerlaubt
optimistischen Leistungsabschätzungen führen, was in der Pra-
xis nachteilige Folgen hat und sogar bis zum Systemausfall
führen kann.

30

35

Ein entsprechendes Verfahren ist durch die EP 863 470 A1 bekannt, in der ein Verfahren zur Erzeugung der Funktion der Leistungsaufnahme eines funktionalen Modells eines digitalen Schaltkreises beschrieben ist, bei welchem Verfahren eine
5 Schaltungsbeschreibung erzeugt wird, bei der die Leistungsaufnahme ermittelbar ist. Diese Schaltungsbeschreibung wird einer Simulation unterzogen, bei der Eingabemuster verwendet werden, um die Funktion der Leistungsaufnahme zu ermitteln. Nachteiligerweise hängen die ermittelten Werte für die Leistungsaufnahme maßgeblich von den verwendeten Testmustern bzw.
10 Eingabemustern ab. Die Qualität der Abschätzung der Leistungsaufnahme wird somit maßgeblich vom Geschick bei der Auswahl der Testmuster bestimmt, so dass bei ungünstig gewählten Testmustern die Leistungsaufnahme falsch eingeschätzt wird.

15 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren bzw. eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung sowie ein in Verbindung mit einer programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung zur Durchführung
20 des Verfahrens eingerichtetes digitales Speichermedium mit Steueranweisungen zu schaffen, bei denen ausgehend von einer Beschreibung einer Digitalschaltung deren minimale oder maximale Schaltaktivität zuverlässig ermittelt werden kann.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 bzw. ein Speichermedium mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen
30 der vorliegenden Erfindung.

Erfindungsgemäß wird die minimale oder maximale Schaltaktivität einer Digitalschaltung anhand dessen Modells iterativ in Schritten bestimmt, wobei in jedem Schritt zunächst ein
35 Schätzwert für die minimale oder maximale Schaltaktivität festgelegt wird und anschließend verifiziert wird, ob der Schätzwert für die minimale oder maximale Schaltaktivität

tatsächlich ein Extremwert sein kann. Diese Verifikation geschieht erfindungsgemäß durch den Versuch eines Gegenbeweises, bei dem nach einem Betriebsfall gesucht wird, in dem die Schaltaktivität der Digitalschaltung noch größer bzw. kleiner als der ursprünglich angenommene Schätzwert für die maximale bzw. minimale Schaltaktivität der Digitalschaltung ist. Das Führen dieses Gegenbeweises besteht in dem Versuch, einen Betriebsfall aufzufinden, der die ursprünglich getroffene Annahme widerlegt, der Schätzwert für die maximale bzw. minimale Schaltaktivität wäre tatsächlich ein Extremwert.

Wenn ein Nachweisbetriebsfall bzw. ein Widerlegungsbetriebsfall gefunden werden kann, der die ursprüngliche Annahme widerlegt, wird der ursprünglich angenommene Schätzwert im nächsten Schritt der Iteration erhöht bzw. erniedrigt, um dem tatsächlichen Wert für die maximale bzw. minimale Schaltaktivität der Digitalschaltung näher zu kommen. Wenn die maximale Schaltaktivität gesucht wird, wird bei der Verifizierung nach einem Widerlegungsbetriebsfall gesucht, bei dem die Schaltaktivität größer als der Schätzwert im jeweiligen Schritt ist, und wird der Schätzwert zum nächsten Schritt hin erhöht, wenn kein Widerlegungsbetriebsfall gefunden werden kann bzw. doch noch eine höhere Schaltaktivität der Digitalschaltung als der ursprünglich angenommene Schätzwert möglich sein muss, und wird der Schätzwert erniedrigt, wenn kein Widerlegungsbetriebsfall gefunden werden kann.

Wird dagegen die minimale Schaltaktivität der Digitalschaltung gesucht, so wird bei der Verifizierung nach einem Widerlegungsbetriebsfall gesucht, bei dem die Schaltaktivität der Digitalschaltung geringer als der Schätzwert im jeweiligen Schritt ist. Wird ein solcher Widerlegungsbetriebsfall gefunden, wird der Schätzwert zum nächsten Schritt der Iteration hin weiter verringert, und wird kein Widerlegungsbetriebsfall gefunden, so wird der Schätzwert zum nächsten Schritt hin erhöht.

Die Schaltaktivität der Digitalschaltung kann dabei vorteilhafterweise als die Anzahl der Elemente innerhalb der Digitalschaltung definiert sein, die einen logischen Zustand speichern können und innerhalb einer zu wählenden Zeitbasis ihren Zustand ändern. Derartige Schaltungselemente, die einen logischen Zustand speichern können, sind insbesondere Kippglieder wie beispielsweise Flipflops. Als Zeitbasis kann insbesondere ein Takt der Digitalschaltung verwendet werden, wobei vorzugsweise bei jedem Takt ein Wechsel des logischen Zustands jedes Kippglieds bzw. Speicherelements möglich sein soll. Die Schaltaktivität kann somit als ganze Zahl ausgedrückt werden, die auf eine Zeitbasis bezogen wird, wobei in der Regel die Zeitbasis ein Taktschritt ist, so dass die Schaltaktivität eine einfache ganze Zahl ist.

Vorteilhafterweise wird der Schätzwert von einem Iterationsschritt zum nächsten um eine Schrittweite erhöht oder erniedrigt, die sich von Iterationsschritt zu Iterationsschritt stetig verringert. Auf diese Weise nähert sich im Laufe der Iteration der Schätzwert für die maximale oder minimale Schaltaktivität immer mehr dem jeweiligen tatsächlichen Wert an. Dabei kann die Schrittweite von jedem Iterationsschritt zum nächsten auf verschiedene Weisen verringert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Schrittweite zum nächsten Iterationsschritt hin jeweils zu halbieren oder durch einen bestimmten Faktor zu teilen. Weiterhin kann die Schrittweite im Fall einer Erhöhung auch anders bemessen sein als im Fall einer Erniedrigung. Weiterhin kann für den Schätzwert und insbesondere für die Schrittweite zum Erhöhen oder Erniedrigen des Schätzwerts nicht ein Absolutwert verwendet werden, sondern ein Teil einer Bezugsgröße, die vorteilhafterweise der theoretisch maximal möglichen Schaltaktivität der Digitalschaltung entspricht. Dieser theoretische Maximalwert, der als Bezugsgröße verwendet werden soll, ist insbesondere die Anzahl der Kippglieder innerhalb der Digitalschaltung. Zu den Kippgliedern sollen in diesem Fall alle Schaltungselemente gezählt werden, die einen logischen Zustand speichern können.

Wenn die Anzahl der Kippglieder als theoretischer Maximalwert für die Schaltaktivität verwendet wird, so gilt dies vorzugsweise nur, wenn als Zeitbasis ein Taktschritt der Digitalschaltung verwendet wird. Als theoretischer Maximalwert für die Schaltaktivität kann jedoch auch ein Vielfaches der Anzahl der Kippglieder der Digitalschaltung verwendet werden, wenn als Zeitbasis ebenso ein Vielfaches an Taktschritten der Digitalschaltung verwendet wird.

Die zur Durchführung der erfindungsgemäßen Lehre erforderliche Verifikation bzw. das Auffinden eines Widerlegungsbetriebsfalls kann auf verschiedene Weisen durchgeführt werden. Insbesondere wird die Verifikation durchgeführt, indem anhand des Modells der Digitalschaltung eine oder mehrere logische Funktionen erstellt werden, die den logischen Zustand an einigen oder allen innerhalb der Digitalschaltung vorkommenden Schaltelementen in Abhängigkeit von einem Betriebsfall beschreiben. Als Betriebsfall wird allgemein die Summe der Umstände verstanden, die reproduzierbar zu einem bestimmten Zustand der Digitalschaltung führen. Ein Betriebsfall umfasst insbesondere ein bestimmtes Muster von Eingangsgrößen und den zeitlichen Ausgangszustand der Digitalschaltung, sofern dieser das Verhalten der Digitalschaltung bestimmt. Ein Ziel bei der Verifikation ist es, den Widerlegungsbetriebsfall möglichst schnell aufzufinden. Da Digitalschaltungen immer umfangreicher werden, führt ein einfaches Durchprobieren aller möglichen Betriebsfälle zum Auffinden eines Widerlegungsbetriebsfalls nur unter einem sehr hohen Zeitaufwand zum Ziel. Daher ist es bekannt, verschiedene Strategien einzusetzen, um den Nachweis zu führen, ob es wenigstens einen Widerlegungsbetriebsfall gibt, wobei es nur von Bedeutung ist, ob es wenigstens einen derartigen Widerlegungsbetriebsfall gibt. Wie ein solcher vorhandener Widerlegungsbetriebsfall aussieht, ist für die Erfindung nicht von grundsätzlicher Bedeutung.

Bei der Verifikation kann die wenigstens eine logische Funktion, die das Verhalten der Digitalschaltung beschreibt, vor-

ab analysiert werden, um eine erfolgversprechende Strategie festzulegen, nach der unterschiedliche Betriebsfälle oder Gruppen von ähnlich wirkenden Betriebsfällen ausprobiert werden. Daneben ist es auch denkbar, Verfahren zur Verifikation einzusetzen, bei denen keine Simulation der Digitalschaltung bzw. das Anwenden der wenigstens einer logischen Funktion auch für eine begrenzte Gruppe von Betriebsfällen erforderlich ist, sondern allein durch formale Analyse des Modells der Digitalschaltung entschieden wird, ob es einen Widerlegungsbetriebsfall geben kann bzw. gibt oder nicht geben kann bzw. nicht gibt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf der Grundlage einer synthetisierbaren Schaltungsbeschreibung oder einer formalen Eigenschaftssuite durchgeführt werden. Eine Eigenschaftssuite ist ein Satz von Eigenschaften, die in einer formalen Eigenschaftssprache formuliert sind, wie beispielsweise Sugar oder System Verilog Assertions. Bei der Verwendung einer Eigenschaftssuite bzw. einem Satz von Eigenschaften kann bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei der Verifikation die Auswahl der formalen Eigenschaften innerhalb der Eigenschaftssuite eingeschränkt werden. So ist es möglich, bei der Prüfung nur einige der formalen Eigenschaften zu berücksichtigen, um beispielsweise die Untersuchung auf relevante und insbesondere in der Praxis auftretende Betriebsfälle zu beschränken. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn die Verwendung der Digitalschaltung in der vorgesehenen Umgebung dazu führt, dass bestimmte Betriebsfälle bzw. Gruppen von Betriebsfällen von vornherein ausgeschlossen sind.

Zu Beginn des Verfahrens wird der Schätzwert ohne vorangegangene Verifikation festgelegt, wobei der zuerst festgelegte Schätzwert vorzugsweise in Abhängigkeit des theoretischen maximalen Werts für die Schaltaktivität festgelegt wird. Dieser Höchstwert ist insbesondere wie zuvor ausgeführt die Anzahl der in der Digitalschaltung vorhandenen Kippglieder. Der ers-

te Schätzwert kann beispielsweise ein festgelegter Prozentsatz der theoretisch maximalen Schaltaktivität sein.

Die Iteration wird abhängig von einem Abbruchkriterium abgebrochen und der zu diesem Zeitpunkt verwendete Schätzwert als Wert für die maximale oder minimale Schaltaktivität verwendet. Als Abbruchkriterium für die Iteration kommen verschiedene Bedingungen in Frage. Zum einen kann die Iteration abgebrochen werden, sobald die Schrittweite beim schrittweisen Verringern einen bestimmten Minimalwert erreicht. Dieser Minimalwert stellt dann die Obergrenze für den Fehler bei der Bestimmung der minimalen oder maximalen Schaltaktivität dar. Insbesondere wird der Minimalwert so gewählt, dass er kleiner als eine geforderte Genauigkeit bei der Bestimmung der minimalen und maximalen Schaltaktivität ist.

Weiterhin kann die Iteration nach einer festgelegten Anzahl von Iterationsschritten abgebrochen werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung wird am Ende der Iteration der zuletzt als vorhanden ermittelte Widerlegungsbetriebsfall ermittelt, um einen Betriebsfall zu gewinnen, der zu einer zumindest im Wesentlichen maximalen bzw. minimalen Schaltaktivität innerhalb der Digitalschaltung führt. Dieser Widerlegungsbetriebsfall, der als Testmuster aufgefasst werden kann, kann zu weiteren verschiedenen Tests verwendet werden. Zum einen kann der Widerlegungsbetriebsfall dazu verwendet werden, um anhand eines geeigneten Modells der Digitalschaltung die minimale oder maximale Leistungsaufnahme zu ermitteln. Dazu kann ein anderes Verfahren oder Rechnerprogramm eingesetzt werden, als es zur Verifikation eingesetzt wurde. Ebenso kann dabei unter Umständen ein anderes Modell der Digitalschaltung erforderlich sein, als es bei der Verifikation verwendet wurde.

Ferner kann der Widerlegungsbetriebsfall auch dazu verwendet werden, das Design der Digitalschaltung zu ändern, um insbe-

sondere die maximale Schaltaktivität der Digitalschaltung zu verringern.

In einer vorteilhaften Ausbildung wird ein Widerlegungsbe-
5 tribsfall dazu verwendet, um eine Abdeckung bzw. ein Covera-
ge zu ermitteln, welches die Anzahl der Elemente innerhalb
der Digitalschaltung darstellt, die bei der Durchführung der
Prüfung relevant waren bzw. Auswirkungen auf die Prüfung ge-
habt haben. Diese Abdeckung oder Coverage ist immer auf we-
10 nigstens eine formale Eigenschaft der Digitalschaltung bezo-
gen, deren Einhaltung Grundlage der Prüfung bzw. der Verifi-
kation war. Demzufolge kann die Abdeckung oder Coverage so-
wohl in Bezug auf die Suche nach der minimalen Schaltaktivi-
tät als auch nach der maximalen Schaltaktivität und weiterhin
15 für verschiedene formale Eigenschaften der Digitalschaltung
oder Kombinationen von formalen Eigenschaften berechnet wer-
den. Die Abdeckung oder Coverage kann zu Diagnosezwecken der
Digitalschaltung verwendet werden. Dabei kann die Abdeckung
oder Coverage nicht nur den Anteil der bei der Prüfung maß-
20 geblichen Elemente anzeigen, sondern unter Umständen auch,
welche der Elemente der Digitalschaltung bei der Prüfung maß-
geblich waren. Auf diese Weise können beispielsweise tote
Pfade innerhalb der Digitalschaltung ermittelt werden, die
keinen Beitrag zum Erfüllen der geforderten formalen Eigen-
25 schaften liefern.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere in einer Da-
tenverarbeitungseinrichtung wie einem programmierbaren Rech-
ner durchgeführt werden, wobei die Erfindung auch in einem
30 Datenträger mit geeigneten Steueranweisungen implementiert
sein kann, wobei die Steueranweisungen derart eingerichtet
sind, dass eine entsprechend eingerichtete programmierbare
Datenverarbeitungseinrichtung nach Einlesen der Steueranwei-
sungen das erfindungsgemäße Verfahren ausführt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert.

5 Figur 1 ist ein schematisches Blockdiagramm der Verfahrensschritte beim Ermitteln der maximalen Schaltaktivität, und

Figur 2 ist ein schematisches Blockdiagramm der Verfahrensschritte beim Ermitteln der minimalen Schaltaktivität einer
10 Digitalschaltung.

Bei dem nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren die minimale und die maximale Schaltaktivität einer Digitalschaltung bestimmt, wobei die Digitalschaltung in Form eines funktionalen Modells
15 vorliegt, bei dem eine Reihe von Eigenschaften definiert ist, die die Digitalschaltung erfüllt. Im Folgenden wird zur Bezeichnung der Schaltaktivität der Buchstabe k verwendet, wobei der Schätzwert für die Schaltaktivität und der am Ende des Verfahrens erhaltene Wert für die Schaltaktivität nicht
20 unterschiedlich bezeichnet werden. Die Bezeichnung $P(k)$ wird im Folgenden verwendet, um den wenigstens einen Widerlegungsbetriebsfall zu kennzeichnen, der zumindest im Wesentlichen zu einer bestimmten Schaltaktivität k führt.

25 Bei der in Figur 1 dargestellten Ermittlung der maximalen Schaltaktivität beginnt das Verfahren mit Block 1, in dem ein Startwert k_0 als Schätzwert der Schaltaktivität vorgegeben wird. An den Block 1 schließt sich der Block 2 an, der eine
30 Verifizierung beinhaltet, ob der aktuelle Schätzwert k tatsächlich der maximale Wert für die Schaltaktivität sein kann oder ob sich ein Widerlegungsbetriebsfall finden lässt, der die Annahme widerlegt, dass der derzeitige Schätzwert k tatsächlich der maximale Wert sein kann. Falls ein Widerlegungsbetriebsfall gefunden wird und die Annahme falsch (false)
35 war, verzweigt das Verfahren zu Block 4, in dem der Schätzwert k um eine Schrittweite erhöht wird. Falls die Annahme

richtig (true) war und sich kein Widerlegungsbetriebsfall finden ließ, wird zu Block 3 verzweigt, indem der Schätzwert k um eine Schrittweite verringert wird. Sowohl die in Block 3 als auch die in Block 4 verwendete Schrittweite verringert sich bei jedem Verfahrensschritt. Innerhalb der Abfrage in Block 2 ist weiterhin eine Überprüfung implementiert, ob die Anzahl der bereits durchgeführten Iterationsschritte eine Maximalanzahl erreicht hat. Wenn die Zahl der Iterationsschritte die Maximalanzahl erreicht hat, beendet der Verifikationsblock 2 die Iteration und verzweigt zu den beiden Blöcken 5 und 6, in denen zum einen in Block 5 der aktuelle Schätzwert k als Wert für maximale Schaltaktivität der Digitalschaltung festgelegt wird und indem zum anderen in Block 6 der zuletzt als vorhanden ermittelte Widerlegungsbetriebsfall $P(k)$ ermittelt und ausgegeben wird. Dieser letzte Widerlegungsbetriebsfall $P(k)$ wird in weiteren nicht dargestellten Verfahrensschritten entweder zu Diagnosezwecken oder zur Berechnung der tatsächlichen Leistungsaufnahme bei maximaler Schaltaktivität verwendet. An dieser Stelle sei bemerkt, dass die maximale Leistungsaufnahme einer Digitalschaltung nicht notwendigerweise bei der maximalen Schaltaktivität auftreten muss, diese Annahme jedoch in aller Regel zutrifft.

In Figur 2 ist die Durchführung des Verfahrens zur Ermittlung der minimalen Schaltaktivität beschrieben. Die in Figur 2 im Blockdiagramm auftretenden Blöcke entsprechen denen aus Figur 1 und wurden mit den gleichen Bezugsziffern versehen. Im Gegensatz zur Ermittlung der maximalen Schaltaktivität wird bei dem in Figur 2 dargestellten Verfahren beim Verifikationsblock 2 nicht ermittelt, ob der Schätzwert k der maximale sein könnte, sondern ob er der minimale sein könnte, und wird dazu versucht, einen Widerlegungsbetriebsfall aufzufinden, bei dem die Schaltaktivität noch geringer ist. Falls ermittelt wird, dass die Annahme falsch (false) ist und die Existenz eines geeigneten Widerlegungsbetriebsfalls mit geringerer Schaltaktivität nachgewiesen werden konnte, wird zu Block 4 verzweigt, in dem der Schätzwert k um eine Schrittweite

verringert und die Verifikation in Block 2 wiederholt wird. Wenn umgekehrt die Annahme richtig (true) ist und die Existenz eines Widerlegungsbetriebsfall geringerer Schaltaktivität nicht nachgewiesen werden konnte, wird zu Block 3 verzweigt, dort der Schätzwert k um eine Schrittweite erhöht und die Verifikation in Block 2 wiederholt. Ähnlich wie bei der Ermittlung der maximalen Schaltaktivität wird die Iteration nach einer bestimmten Höchstanzahl an Iterationsschritten abgebrochen und zu den Blöcken 5 und 6 verzweigt, in denen zum

5 einen der aktuelle Schätzwert als Wert für die minimale Schaltaktivität ausgegeben und der zuletzt als vorhanden nachgewiesene Widerlegungsbetriebsfall $P(k)$ ermittelt und ausgegeben wird. Wie bei der Ermittlung der maximalen Schaltaktivität wird der Widerlegungsbetriebsfall $P(k)$ zu Diagnose-

10 zwecken und zur Berechnung der minimalen Leistungsaufnahme der Digitalschaltung herangezogen.

15

Das im vorliegenden Ausführungsbeispiel beschriebene erfindungsgemäße Verfahren kann auf einer eigens dazu eingerichteten Datenverarbeitungseinrichtung ausgeführt werden oder kann

20 in Form eines Datenverarbeitungsprogramms implementiert sein, das in einer programmierbaren Datenverarbeitungseinrichtung die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bewirkt.

28 Nov. 2002

12

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer minimalen oder einer maximalen Schaltaktivität (k) einer Digitalschaltung anhand eines
5 Modells der Digitalschaltung, bei welchem Verfahren zum Ermitteln der minimalen Schaltaktivität (k) eine Prüfung durchgeführt wird, ob es wenigstens einen Nachweisbetriebsfall der Digitalschaltung gibt, in dem die Schaltaktivität (k) geringer als ein Schätzwert (k) ist, und die Prüfung be-
10 jahendenfalls mit einem um eine Schrittweite verringerten Schätzwert (k) und verneinendenfalls mit einem um eine Schrittweite erhöhten Schätzwert (k) wiederholt wird, bzw. zum Ermitteln der maximalen Schaltaktivität (k) eine Prüfung durchgeführt wird, ob es wenigstens einen Nachweisbetriebs-
15 fall der Digitalschaltung gibt, in dem die Schaltaktivität (k) größer als ein Schätzwert (k) ist, und die Prüfung bejahendenfalls mit einem um eine Schrittweite erhöhten Schätzwert (k) und verneinendenfalls mit einem um eine Schrittweite verringerten Schätzwert (k) wiederholt wird.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zu Beginn die Prüfung mit einem Schätzwert (k_0) durchge-
führt wird, der in Abhängigkeit der Anzahl an Kippgliedern
25 innerhalb der Digitalschaltung ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei jeder Wiederholung der Prüfung die Schrittweite ver-
30 ringert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das Verfahren beendet wird, sobald die Schrittweite eine
35 Mindestschrittweite erreicht hat.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet ,
dass das Verfahren nach einer Höchstanzahl an Wiederholungen
beendet wird.

5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,
dass am Ende des Verfahrens der zuletzt als vorhanden ermit-
telte Nachweisbetriebsfall ($P(k)$) ermittelt wird und in Ab-
hängigkeit dieses Nachweisbetriebsfalls ($P(k)$) die Leistungs-
10 aufnahme der Digitalschaltung bei der minimalen oder bei der
maximalen Schaltaktivität ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,
15 dass am Ende des Verfahrens der zuletzt als vorhanden ermit-
telte Nachweisbetriebsfall ($P(k)$) ermittelt wird und in Ab-
hängigkeit dieses Nachweisbetriebsfalls ($P(k)$) ein Maß für
den Anteil der Elemente der Digitalschaltung ermittelt wird,
die im Nachweisbetriebsfall ($P(k)$) bei einer Verifizierung
20 wenigstens einer Schalteigenschaft beteiligt waren.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,
dass bei der Durchführung der Prüfung nur das Erfülltsein we-
25 nigstens einer Schalteigenschaft gefordert wird.

9. Vorrichtung zum Ermitteln einer minimalen oder einer maxi-
malen Schaltaktivität einer Digitalschaltung anhand eines Mo-
dells der Digitalschaltung mit Datenverarbeitungsmitteln, die
30 derart eingerichtet sind, dass sie
zum Ermitteln der minimalen Schaltaktivität eine Prüfung
durchführen, ob es wenigstens einen Nachweisbetriebsfall der
Digitalschaltung gibt, in dem die Nachweisaktivität geringer
als ein Schätzwert ist, und die Prüfung bejahendenfalls mit
35 einem um eine Schrittweite verringerten Schätzwert und ver-
neinendenfalls mit einem um eine Schrittweite erhöhten
Schätzwert wiederholen, bzw.

zum Ermitteln der maximalen Schaltaktivität eine Prüfung durchführen, ob es wenigstens einen Nachweisbetriebsfall der Digitalschaltung gibt, in dem die Schaltaktivität größer als ein Schätzwert ist, und die Prüfung bejahendenfalls mit einem um eine Schrittweite erhöhten Schätzwert und verneinendenfalls mit einem um eine Schrittweite verringerten Schätzwert wiederholen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
10 dadurch g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 eingerichtet ist.

11. Digitales Speichermedium, mit elektronisch auslesbaren
15 Steuersignalen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, dass dieses ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausführt.

28 Nov. 2002

15

Zusammenfassung

Verfahren und Einrichtung zum Ermitteln der minimalen oder maximalen Schaltaktivität einer Digitalschaltung

5

Um beim Entwurf einer Digitalschaltung die minimale oder maximale Schaltaktivität zur Abschätzung der Leistungsaufnahme ermitteln zu können, wird erfindungsgemäß anhand eines Modells der Digitalschaltung ermittelt, ob es einen Widerlegungsbetriebsfall gibt, bei dem die Schaltaktivität geringer als ein Schätzwert (k) für die minimale Schaltaktivität oder größer als ein Schätzwert (k) für die maximale Schaltaktivität ist. Falls die Existenz eines geeigneten Wiederlegungsbetriebsfalls ($P(k)$) ermittelt werden kann, wird bei der Ermittlung der maximalen Schaltaktivität der Schätzwert (k) um eine Schrittweite erhöht und bei der Ermittlung der minimalen Schaltaktivität der Schätzwert (k) verringert. Nach einer Verringerung bzw. Erhöhung des Schätzwerts (k) wird das Verfahren wiederholt und auf diese Weise der tatsächliche Wert für die maximale bzw. minimale Schaltaktivität der Digitalschaltung iterativ bestimmt. Nach einer geeigneten Abbruchbedingung wird der aktuell verwendete Schätzwert (k) als Maß für die minimale bzw. maximale Schaltaktivität verwendet. Anhand der minimalen oder maximalen Schaltaktivität kann zum

10
15
20
25

einen die minimale oder maximale Leistungsaufnahme der Digitalschaltung ermittelt werden oder können zum anderen weitere Diagnosefunktionen durchgeführt werden.

(Figur 1)

30

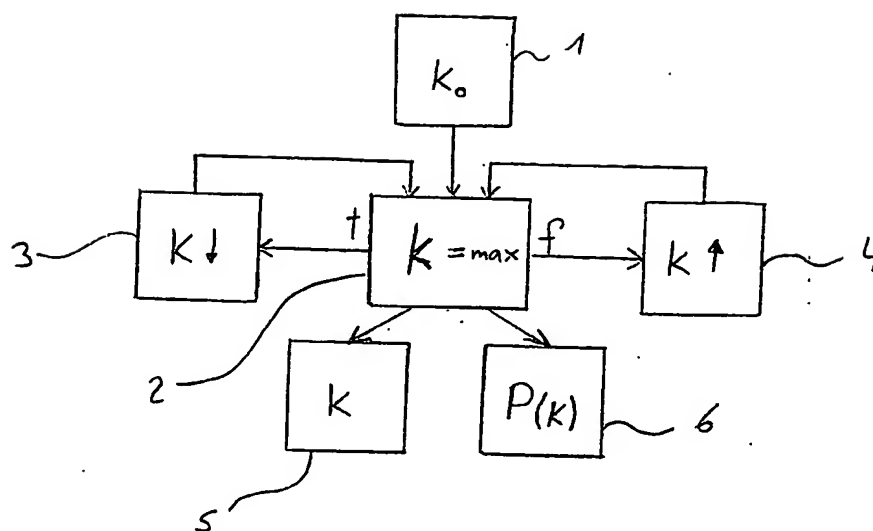


Fig. 1

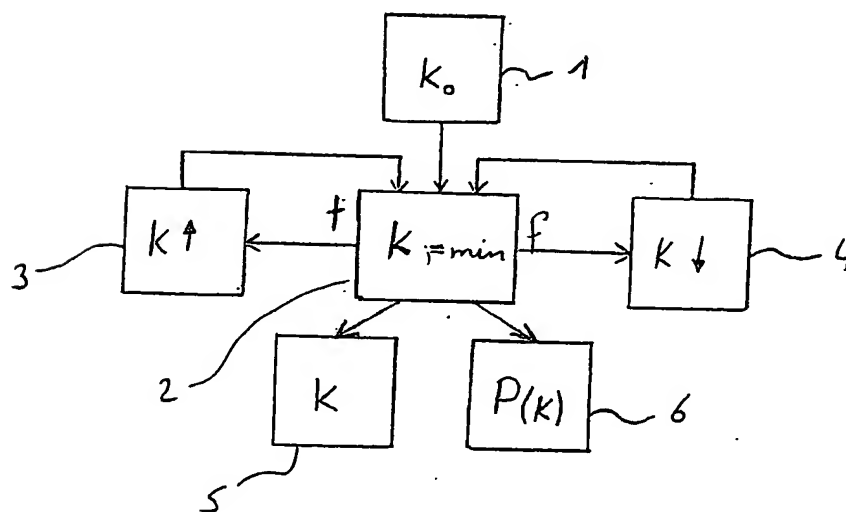


Fig. 2

